

Живкович А.В., студент, Муравьев А.В., к.т.н.
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Украина

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Вступление. Утверждать о температуре поверхности нагретого тела можно на основе измерения параметров теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Чем больше такой энергии излучает исследуемый объект, тем выше температура его поверхности [1]. Сфера дистанционного измерения температуры тел по их тепловому излучению получила название «пирометрия».

На сегодняшний день показатели температуры объектов имеют большое значение, потому что даже незначительное отклонение от установленной нормы в определенных случаях может привести к нежелательным последствиям. Контактное измерение температуры является не всегда эффективным, поскольку контактные приборы не пригодны для измерения температуры движущихся, труднодоступных или находящихся в опасных участках объектов. В таких случаях говорят о необходимости применения бесконтактных средств измерения температуры поверхностей – пирометров. Однако, их популярность обусловлена не только высокой востребованностью в промышленности и различных сферах науки, данные приборы активно используются в быту благодаря своей многофункциональности, удобству в эксплуатации и компактным размерам. Основными преимуществами бесконтактных измерителей перед контактными являются: возможность измерять температуру объектов, находящихся на большом расстоянии; отсутствие искажений температурного поля поверхности; неограниченное максимальное значение измеряемой температуры; возможность измерять температуру газовых потоков, движущихся на большой скорости и т. д.

Очевидно, что измерение температуры объектов современными пирометрами имеет значительный ряд преимуществ перед контактными термометрами.

Классификация пирометров. Как уже было отмечено, пирометром называют устройство для дистанционного измерения температуры объектов. Принцип работы прибора основан на регистрации интенсивности излучения поверхности тела и сопоставлении этого излучения с его температурой. Соответственно, по принципу действия пирометры бывают:

- яркостные, основаны на сравнении излучения поверхности со значениями излучения эталонной нити, по которой проходит электрический ток. Диапазон измерения температуры: $700^{\circ}\text{C} \dots 6000^{\circ}\text{C}$;
- цветковые, функционируют путем сравнения энергий (яркостей) объекта на двух участках видимого диапазона спектра. Применяются для измерения температур в диапазоне $300^{\circ}\text{C} \dots 2800^{\circ}\text{C}$;
- радиационные, основываются на использовании радиационного метода для ограниченного инфракрасного диапазона длин волн оптического излучения. Способны регистрировать температуры объектов от -50°C до 3500°C .

Сравнительная анализ особенностей основных видов бесконтактных измерителей температуры содержит таблица 1.

Таблица 1. Преимущества и недостатки основных видов пирометров

Тип пирометра	Преимущества	Недостатки
Яркостные	На точность измерения не влияет ни расстояние до объекта, ни его излучательная способность	Низкая надежность, высокая стоимость, меньшая удобность в использовании по сравнению с радиационными пирометрами
Цветовые		
Радиационные	Простота конструкции, низкая стоимость, возможность измерения отрицательных значений температуры, высокая надежность, компактность	Точность результатов измерения температуры зависит от излучательной способности поверхности нагретых тел и от расстояния до объекта контроля

Несмотря на присущие недостатки радиационных устройств, именно наличие большого количества преимуществ делают их наиболее популярными по сравнению с другими видами пирометров. Однако, выбор типа устройства также зависит от цели использования, сферы применения, необходимого функционала, его технических характеристик и т. д.

Разработка конструкции современного пирометра. Функциональная схема современного прибора бесконтактного измерения температуры, основанного на радиационном методе контроля, имеет вид, подобный приведенному на рис. 1.

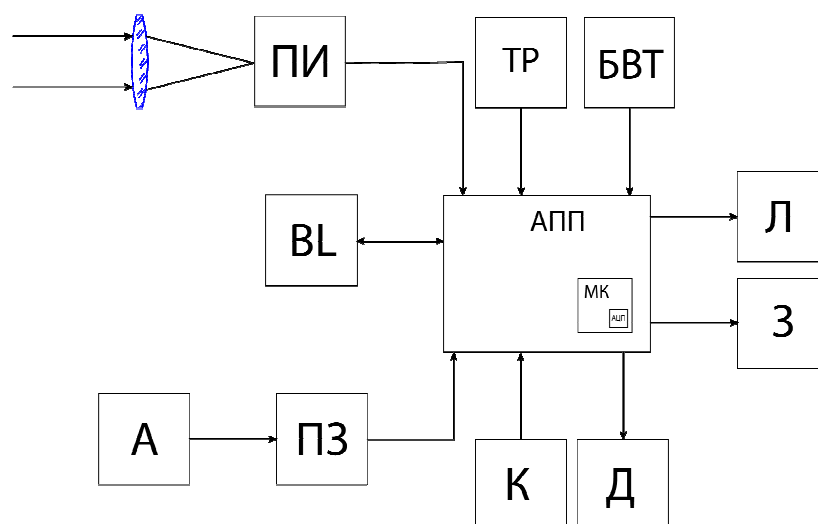


Рис. 1. Функциональная схема современного радиационного пирометра с расширенным функционалом

Тепловые лучи от нагретого тела фокусируются через линзу на приемник излучения (ПИ). Сигнал с приемника для дальнейшей обработки направляется к аппаратно-программной платформе (АПП), содержащей встроенный микроконтроллер (МК) с аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Полученные результаты измерения выводятся на дисплей (Д) [2]. Управление прибором происходит благодаря системе кнопок (К). Источником питания служит аккумулятор (А) с платой зарядки (ПЗ). Для расширения функционала к АПП подключены метео-датчик (БВТ), Bluetooth-модуль (BL) для обмена данными с устройствами, лазер (Л) для наведения на объект контроля, модуль

звуковой индикации (3). Дополнительно к АПП присоединен выход для терморезистора (ТР), который выполняет функцию контактного измерения температуры.

Детектор излучения и оптическая система являются основными компонентами пирометра [3]. В большинстве приборов используют линзы Френеля, поверхность которых состоит из прилегающих друг к другу тонких концентрических колец небольшой толщины, которые формируют периодический микрорельеф. Как видно из приведенного рисунка (рис. 2, а, б), такая линза имеет ступенчатую форму, чем и отличается от сферического строения традиционной линзы (рис. 2, в). Особая форма поверхности способствует фокусировке излучения в одной плоскости, что позволяет эффективно концентрировать всю падающую на систему световую энергию на чувствительной площадке приёмника излучения. При этом такой оптический компонент имеет относительно низкую себестоимость и сравнительно небольшие габариты, чем выгодно отличается от сферической линзы.

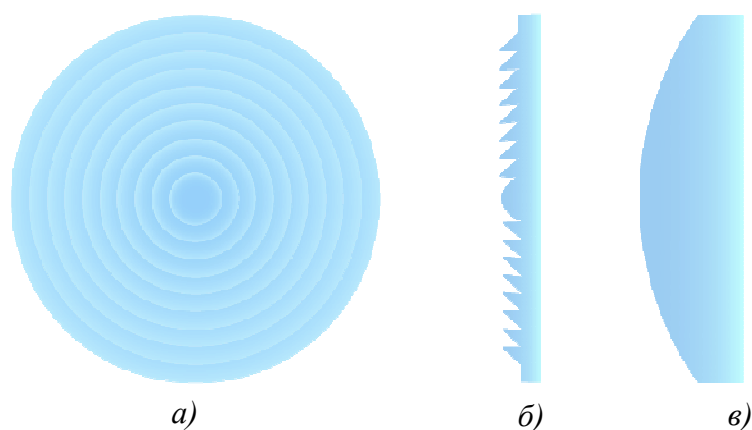


Рис. 2. Вид линзы Френеля (а), а также сечение френелевской (б) и сферической (в) линз

С помощью программы Zemax была смоделирована оптическая система радиационного пирометра. На рис. 3 видно, что такая система состоит из апертурной диафрагмы (1), линзы Френеля (2), полевой диафрагмы (3) и приёмника излучения (4).

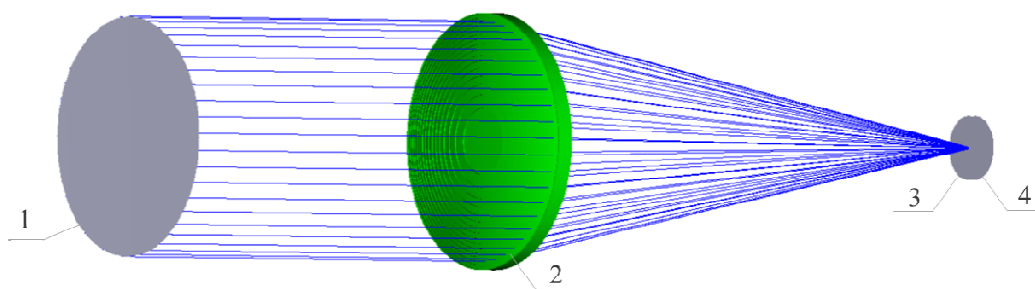


Рис. 3. Трехмерная модель оптической системы радиационного пирометра

Проведенные расчеты позволили сделать вывод о высокой эффективности синтезированной оптической системы, благодаря которой был сконструирован компактный и достаточно точный прибор. Определение температуры поверхности объектов контроля проводится с точностью $0,5^\circ$, диапазон регистрируемых температур от -70°C до 380°C . Спектральный диапазон работы 8-14 мкм. Оптическое разрешение прибора 50:1.

На основе разработанной функциональной схемы, моделирования работы оптической системы, грамотному подбору комплектующих и разработке корпуса был получен работоспособный прибор бесконтактного измерения температуры поверхностей объектов, модель которого представлена на рис. 4.

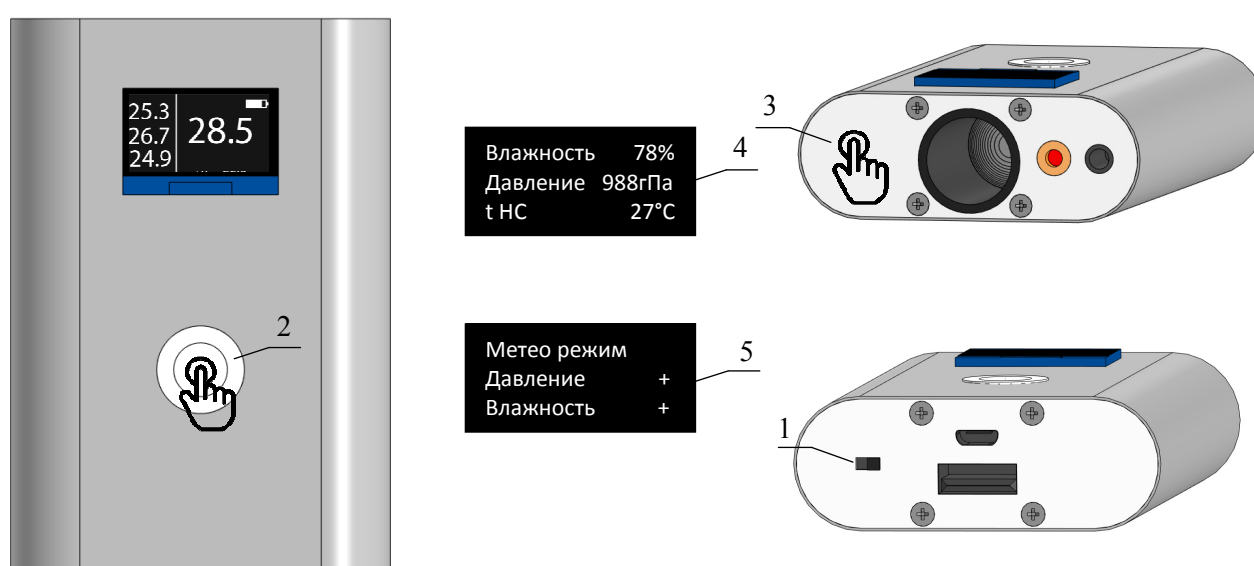


Рис. 4. 3D-модель конструкции пирометра в САПР «Компас»

Эксплуатация разработанного устройства происходит следующим образом. Включение прибора производится с помощью тумблера (1). Для начала измерения необходимо направить устройство на объект контроля и нажать на кнопку (2). Зажав сенсорную кнопку (3) на 1 секунду, пользователь переходит в меню настроек прибора, где при необходимости можно переключиться на метео-режим (4), включить или выключить указанные позиции (5), а для выхода из меню и возврат в режим, необходимо задержать touch-кнопку на 3 секунду. Как видно из рассмотренного функционала, прибор прост и удобен в использовании, что обеспечит ему высокий спрос для применения, как на производстве, так и в быту.

Выводы. Дистанционный контроль температуры объектов необходим сегодня в различных направлениях жизнедеятельности человека. Современные технологии в электронике и оптике позволяют создавать высокоточные, компактные и эффективные в применении пирометры. Разработанный прибор имеет дополнительные функции, относительно небольшую себестоимость и конкурентоспособные характеристики по сравнению с существующими аналогами. Дальнейшие усилия по усовершенствованию устройства будут направлены на автоматизацию его работы.

Литература:

1. Андреев А.Н. Оптические измерения / А.Н. Андреев, Е.В. Гаврилов, Г.Г. Ишанин и др.: Учеб. пособие. – М.: Университетская книга: Логос, 2012. – 416 с.
2. Муравьев А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьев // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі: матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.
3. Стадник В.Й. Оптика: навч. посібн. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. – 360 с.